

第1回 デジタルツイン革命とポストコロナ時代の 日本企業のオペレーション



小宮昌人

CONTENTS

- I デジタルツインの概要
- II インダストリー 4.0・製造業におけるデジタルツイン
- III 製造業以外の幅広い産業でも起こるデジタルツイン革命
- IV デジタルツイン展開企業の動向分析
- V 日本企業のデジタルツイン展開
- VI デジタルツイン時代における日本企業の方向性

要約

- 1 第4次産業革命におけるキーテクノロジーとしてCPS（サイバーフィジカルシステム）・デジタルツインが位置付けられているが、日本では「IoT/AI/ビッグデータ」と定義されてしまうなど、正しく理解されていない点もある。
- 2 CPS・デジタルツインの利点は、ライン設置・工場設立など、実世界で工程を完了せずともデジタル上でシミュレーションし、事前に検討することで、効率的にオペレーション設計ができることである。
- 3 欧米・中・新興国では、デジタルツインを活用した製造業の経営変革・オペレーション変革が着々と進みつつある。特に変化の激しい事業環境や、コロナなど予測できない時代状況、顧客変化のロングテール化に伴う多品種少量化・マスカスタマイゼーション化において、デジタルツイン活用は欠かせない。
- 4 PLM（Product Lifecycle Management：製品ライフサイクル管理）を基軸にデジタルツインとしての対応範囲を拡大させているのは、シーメンス、ダッソー・システムズ、PTCと欧米大手企業が先行しているが、それに対して日立はLumada活用とサプライチェーンのデジタルツイン化を展開し、東芝はCPS企業への転換を図るなど日本企業が追従している状況である。
- 5 日本企業は生産技術人員の属人的なノウハウが強みとされてきた。これらの暗黙知をデジタル化することで、競争力を構築するソリューションサービスにつなげるとともに、フレキシブルなオペレーションを実現することが期待される。

I デジタルツインの概要

第4次産業革命が進展する中、開発・設計・製造・サービスなどの現場のあり方が変わってきている。従来の属人的かつ物理的な現場ノウハウをデジタル上に転写し、誰もが「見える」「再現できる」形で設計・構想・検証のシミュレーションサイクルを事前に実施、現場がチューニング・補完する「デジタルツイン革命」が進展している。

そして製造業に限らず、シンガポールの都市を丸ごとデジタルモデル化する取り組みや、医療分野の人をデジタルモデル化して高度医療を実施する取り組み、あるいは新型コロナウイルスの感染シミュレーションでも、デジタルツインが活用されている。デジタルツインは第4次産業革命の軸となる産業の地殻変動を生む革新的な技術なのである。

日本では現場力が重視され、デジタル上でのシミュレーションよりも現場における実対応に重きが置かれてきた。しかし今後、全産業でノウハウを有する熟練技能者が退職し、外国人労働者が増え、かつコロナ禍で遠隔対応が求められる中で、現場対応に限界が見えてくるであろう。これを打開するための重要な取り組みがデジタルツイン化なのである。

実世界での対面・実施からサイバー（デジタル世界）上でのシミュレーションへと重点がシフトする中で、強みである現場をデジタルツイン化し、日本がポストコロナ時代、デジタルツイン革命時代をリードすべく方向性を論じたい。

1 | デジタルツインとは

デジタルツインは「デジタルの双子」を意

味する。まず、デジタル空間上に物理空間の双子を再現して事前シミュレーション・分析・最適化を行い、それを物理空間にフィードバックさせるという仕組み全体を指す。

アメリカ航空宇宙局（NASA）がアポロ13号の時代に「ペアリングテクノロジー」として活用したことを皮切りに全産業に広がり、第4次産業革命の中心技術となっている。特に変化の激しい事業環境や、新型コロナウイルスなど予測できない時代状況、顧客変化のロングテール化に伴う多品種少量化・カスタマイゼーション（顧客の要望に応じながらの大量生産）が当たり前となる世界では、現場対応のシミュレーションは限界があり、デジタルツイン化が欠かせない。

2 | バーチャルと実世界のブリッジ

デジタルツインは実世界とITが緊密に結合された仕組みであるため、製造工程では実際に工場を稼働・変更させることなく、工場の設計や試運転、改善のシミュレーションができる。物理空間の実機・実工程へ反映・フィードバックさせることでフレキシブルなオペレーションができる（図1）。

3 | 日本で正しく理解されてこなかった デジタルツイン・CPS

日本政府が提唱する「Society5.0」におけるキーテクノロジーとして「CPS（Cyber Physical System）」が位置付けられているが、これはデジタルツインそのものである。しかし、日本では第4次産業革命やSociety5.0を「IoT/AI/ビッグデータ」という個別のテクノロジーの集合体のように定義されてしまうなど、正しい理解が進んでいない

図1 製造ラインにおけるデジタルツインと実機の連携



のが現状である。

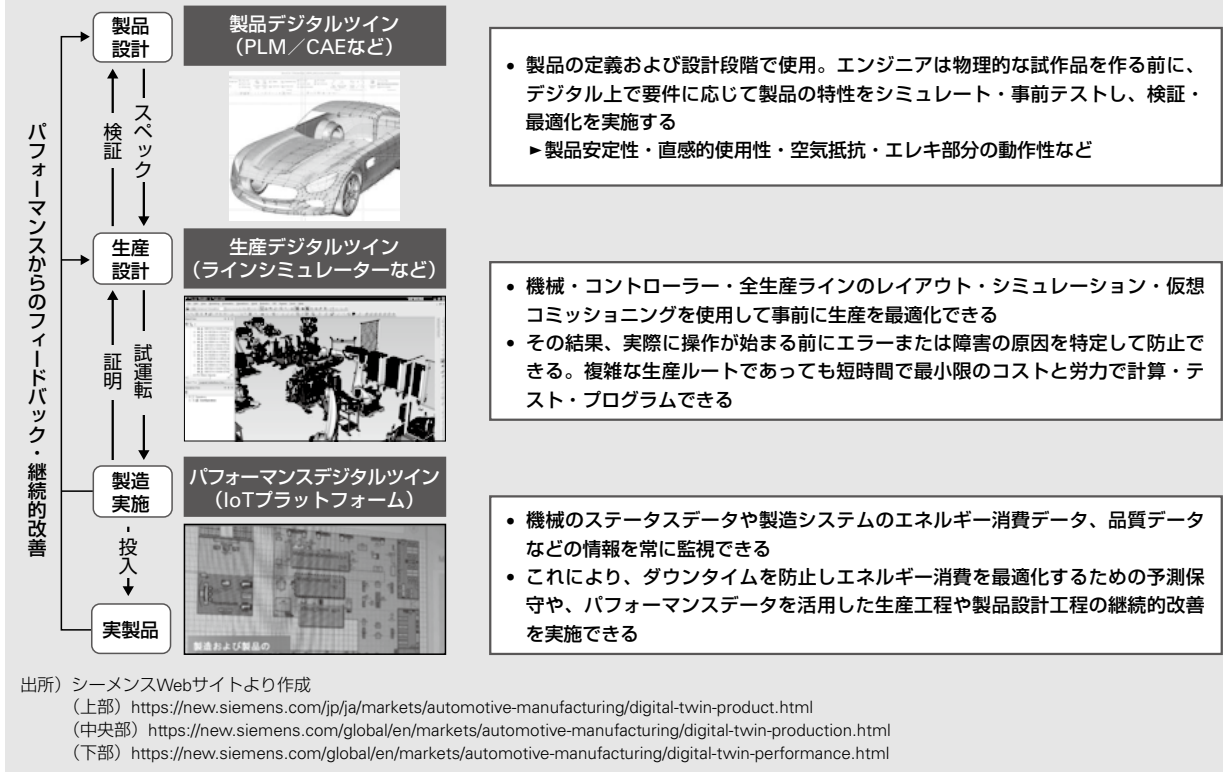
その結果、他国ではデジタルツインを活用した新たなビジネスモデルの検討や製造業のサービス化の進展、サプライチェーンも含めた広範なデータ連携・全体最適化が図られる中、多くの日本企業は個別工程の可視化・個別最適化にとどまっていた。これに関しては徐々に理解が進みつつあり、サプライチェーンも含めた全体プロセスとしてのデータ連携・全体最適化の進展や、サービス・ソリューション検討を行うもしくは推進する企業が出てきているものの、CPS・デジタルツインの本質を正しく理解・解釈し、分析を行う必要がある。

II インダストリー4.0・製造業におけるデジタルツイン

ドイツ製造業のデジタル化施策であるインダストリー4.0は、「CPSを通じたイノベーション」と定義されている。前述の通り、日本においては当初うまく理解されなかった背景があるが、欧米や中国をはじめとした他国では製造業のデジタル化・経営やオペレーションの高度化についてデジタルツインの重要性が理解され、いかにデジタルツインを活用しビジネスを設計するかが検討されている。

世界経済フォーラム（WEF）が2019～2020年に製造業のロールモデルとなる先端工場である「Global Lighthouse」^注を44社認定して

図2 シーメンスのデジタルツインポートフォリオ



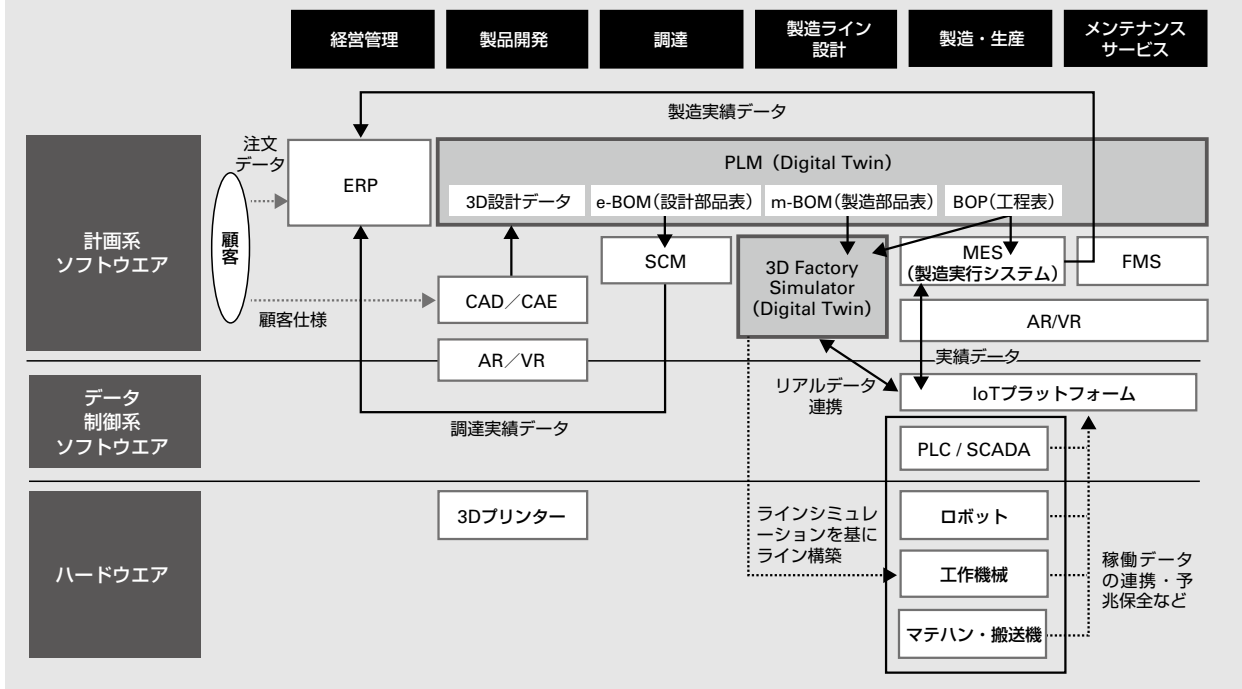
いるが、ほとんどの企業がデジタルツインを活用した高効率な製造オペレーションを実現している。グローバルの製造業において、デジタルツインがいかにデジタルをベースにした高効率なオペレーションや、新規ソリューション・ビジネスモデル構築の中心に据えられているのかが分かる。

インダストリー4.0の中心的存在であるシーメンスは、製品設計、生産設計、製造実施、実製品動作をデジタルツインでつなぐことで、サイバーでのシミュレーションを工場での実機や製品などのフィジカルにフィードバックし、さらに物理空間での変化をデジタルでのシミュレーションにフィードバックさせるサイクルを回し、ものづくりのエンジニアリングチェーンの仮説検証サイクルを実施

し続けて最適化を図ることを提唱している。これらが実現されると部門間や拠点間の連携が効率化され、市場投入スピードが短縮されたり、柔軟なシミュレーションを通じた生産・リソースアロケーション（資源配置）が可能になったりするほか、図面などで行われてきた熟練者の属人的・暗黙知的のノウハウや技術を3D情報やソフトウェアを通じて可視化し、業務を標準化することができる（図2）。

これらデジタルツインを活用した製造業における主なITシステムとデータの関連を示したものが図3である。日本には、まだまだこれらのシステムが全体として入っている企業は限られるが、デジタルツインを活用したオペレーションとしては次のような流れが可

図3 製造業における主なシステムとデータ関連図（概要）



能となる。

- ①顧客からのオーダーを受け、ERPに受注データが蓄積
- ②顧客仕様に基づき、CAD/CAEを活用し、製品設計者が製品3D設計を実施
- ③3D設計に基づき、必要部品表であるe-BOM（設計部品表：Engineering BOM）を生成する
- ④これら3D製品設計データやe-BOMにラフな工程ステップ（組付の単位）を示すm-BOM（製造部品表：Manufacturing BOM）を生成する
- ⑤これらm-BOMがPLM（Product Life cycle Management）を通じて生産技術部門に連携され、m-BOMを基に3D工場・工程シミュレーターを通じて3Dライン設計を行う

- ⑥3Dライン設計に基づき、生産技術・製造技術・設備メーカー・設備インテグレーターが連携しラインの作り込みを行う
- ⑦製造実行結果や、顧客からのフィードバック、事業環境・顧客ニーズの変化などに伴って上記シミュレーションと物理空間でのモノづくりオペレーションの仮説検証サイクルが連続的に回り続ける

ここまでのデジタルオペレーションを構築している日本企業はまだ限られるものの、コロナ禍で既存の属人的・物理的なオペレーションに限界を感じ始めている製造業として、デジタルツインをベースとしたオペレーション変革の関心が高まっている。

従来、設計データ、工程設計、実ラインの作り込みは、それぞれの部門のアウトプットに基づき、熟練者が経験とノウハウを基に図

面で検討をするといったプロセスであった。その結果、それぞれの部門でノウハウは熟練者の背中を見て覚えることが必要となり、人材育成・技能継承が非効率となるケースや、海外工場へのノウハウ移転がうまく進まず、日本でライン設計・組立までを行い、それをばらして海外工場へ運ぶなどコストがかかるオペレーションとなってしまっている。今後、熟練技能者の退職が進んで外国人労働者が工場の現場で増えるため、日本の製造業の

デジタルツイン活用に伴い、効率的かつ持続可能性のあるオペレーション構築が進むことが期待される。

Ⅲ 製造業以外の幅広い産業でも起こるデジタルツイン革命

製造業に限らず、デジタルツイン革命は多くの産業で既に広がっている。デジタルツインの活用は、現場対応負荷を最小化するポス

図4 各産業で進むデジタルツイン革命

<p>製造業・製造</p>		<p>デジタル上で製造ラインを設計・シミュレーションし、デジタル上で構築・試運転の実施、製造プロセスの改善・予防保全を実施</p>	<p>医療・ヘルスケア</p>		<p>人体や医療機器のデジタルツイン化により、医療や手術の高度化・事前シミュレーション、実手術との連携を実施</p>
<p>出所) シーメンスWebサイトより作成 https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-production.html</p>	<p>出所) フィリップス プレゼンテーション資料より作成</p>				
<p>製造業・製品開発</p>		<p>デジタル上で部品や製品を設計し、サイバー空間でモックアップ・試作品を作成し、デザインや品質を確認</p>	<p>物流</p>		<p>複雑なサプライチェーンに関して需給バランスの調整や、在庫管理、輸送ルート・コスト検証を実施する</p>
<p>出所) ダッソー Webサイトより作成 https://www.3ds.com/</p>	<p>出所) CHESSCON Virtual Container Terminalより作成 https://www.youtube.com/watch?v=LfzKTR1gTvg</p>				
<p>建設</p>		<p>建設工程のデジタルツイン化により、効率的な工程設計や、現場の安全性向上・生産性向上を実現</p>	<p>インフラ</p>		<p>インフラのオペレーションのデジタルツイン化により最適な運行・メンテナンスを実現する</p>
<p>出所) Autodesk社Webサイトより作成 https://www.autodesk.com/bim-360/project-role/project-management-software-for-engineers/</p>	<p>出所) 富士通「ハノーバーメッセ2019」展示内容</p>				
<p>スマートシティ</p>		<p>都市をすべてデジタルツイン化して、都市のスマート化や課題解決を図る</p>	<p>農業</p>		<p>農地衛星データ・ドローンデータを統合し、作付計画・ゾーニングや作物管理を実施</p>
<p>出所) シンガポール政府「National Research Foundation」Webサイトより作成 https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore</p>	<p>出所) Climate Field view Webサイトより作成 https://climate.com/features/crop-performance-analysis</p>				

トコロナ時代の産業に必須となってくる。たとえば建設領域では、BIM (Building Information Modeling) がデジタルツインの機能を果たしている。設計CADデータから施工3Dシミュレーション、運用シミュレーションまでを統合しようとする動きとなっている。製造業のデジタルツイン企業であるダッソー・システムズや、シーメンス（傘下のベントレーがBIM展開）、オートデスクなどがBIMでもプレゼンスを有している。これら製造業以外の産業でのデジタルツインの取り組みのうち、建設、スマートシティでの代表的事例を取り上げて紹介したい（図4）。

1 | スマートシティ：バーチャル・シンガポール

シンガポールでは、BIMをベースに国家全土を丸ごと3Dデジタルツイン化し、リアル

タイムで都市情報を可視化する「バーチャル・シンガポール」が展開されている。これは、国立研究財団（NRF）、シンガポール首相官邸、シンガポール土地局（SLA）、シンガポール政府技術庁（GovTech）によるプロジェクトであり、地形情報・建物・交通機関・水位・人間の位置などのリアルタイムデータを統合し、3Dモデル化する。

たとえば、シンガポールでは縦割りの組織構造で重複した工事計画の乱立や、都市計画における無駄が発生してしまっていたが、デジタルツイン化で可視化し、各インフラを整備する計画の最適化が図られている。工事計画には、各省庁横断で建設後の人・車の流れの変化をシミュレーションできるほか、工事状況や交通情報をリアルタイムで共有できるため渋滞緩和策や工事効率化のための検討が行われる。

図5 バーチャル・シンガポール



出所) シンガポール政府「National Research Foundation」Webサイトより作成
<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>

そのほか、デジタルツイン活用により、効率的な発電のための太陽光発電パネルの設置場所検討など、国家全体としてのエネルギー効率最大化、インフラオペレーションのリアルタイムでのモニタリング、物流・人の移動の最適化、渋滞の解消や公共交通機関の最適化・改善といった効果が生まれている（図5）。

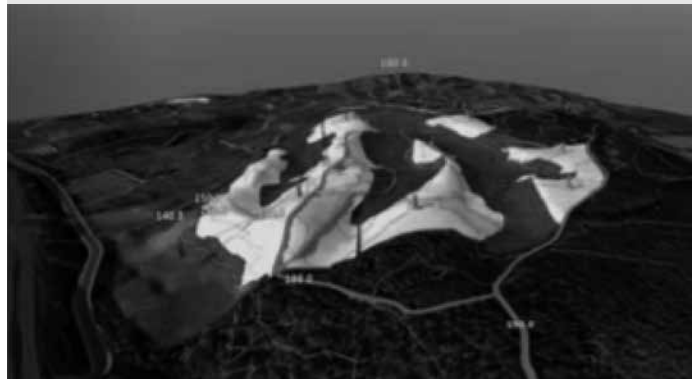
2 | 建設：コマツスマートコンストラクション

建設業界においては、ドローンで地形データを取得して3次元データ（デジタルツイン）を構築することによる測量プロセスの効率化や、工程の自動生成などが行われている。これまでは測量が人手で行われており、相当な時間を要するボトルネック工程となっていた。日々の進捗や現場の状況を正しく把握することが困難であり、その結果、工程遅れや非効率が発生してしまっていたのだ。

こういった状況にコマツは、建設業界におけるデジタル化ソリューションである「スマートコンストラクション」によって、ドローンによるセンシング（センサーによる計測）とそのデータの点群化処理を通じて、土木現場のデジタルツインを生成し、進捗を管理している。その結果、測量効率を大幅に向上し、約4日かかっていた作業を20分でできるようにしている。日々の業務の始めと終わりに上記プロセスで現場のデジタルツインのアップデートを図ることで、工程進捗を可視化し、現場責任者、経営者が迅速な意思決定を行えるようになっている（図6）。

また、デジタルツインは施工効率性・生産性向上のためだけではなく、施工会社の経営

図6 コマツのスマートコンストラクションによる土木デジタルツイン



出所) コマツIR資料より作成

https://home.komatsu/jp/ir/library/results/03_KomatsuDX.pdf

環境の改善にも活用されている。コマツはランドデータバンクと呼ばれる金融企業をパートナーと共同で立ち上げ、プロジェクトの着手金以外は完了まで支払いを受けられなかった施工会社に対して、進捗データに応じた支払いを実現している。

IV デジタルツイン展開企業の動向分析

デジタルツイン活用があらゆる産業で進む中で、グローバルで多くの企業に導入され、技術革新をリードする存在が生まれている。そういった産業デジタルツインにおけるグローバルプラットフォームを、BtoC領域におけるプラットフォームであるGAFAのように「DAPS（ダップス）」と呼びたい。DAPSは図7のダッソー・システムズ、アンシス、PTC、シーメンスの頭文字をとった造語であり、本論文を通じて提唱する。

DAPSは広範な産業におけるデジタルツインプラットフォームを担っており、製品設計を中心としたPLM領域を軸に、工程シミュレーター、製品・オペレーションIoT、AR/

図7 デジタルツインプラットフォーム「DAPS」

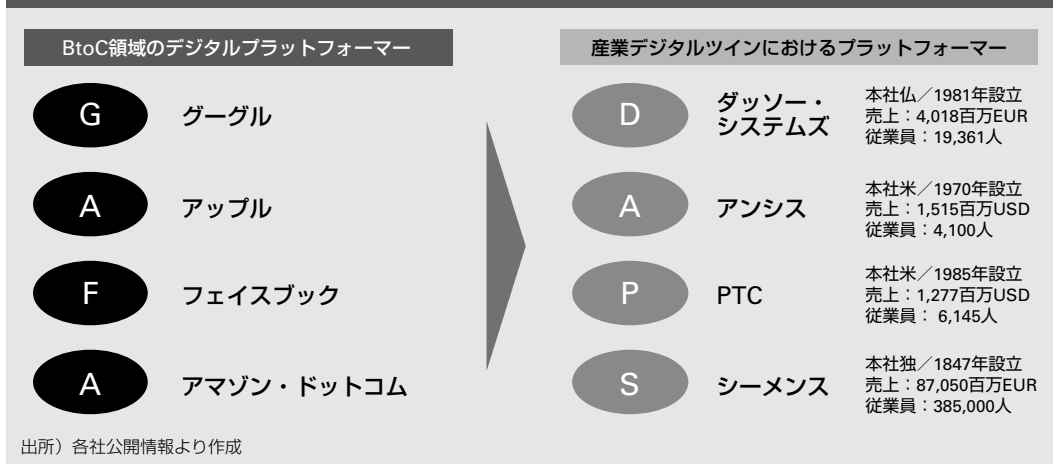
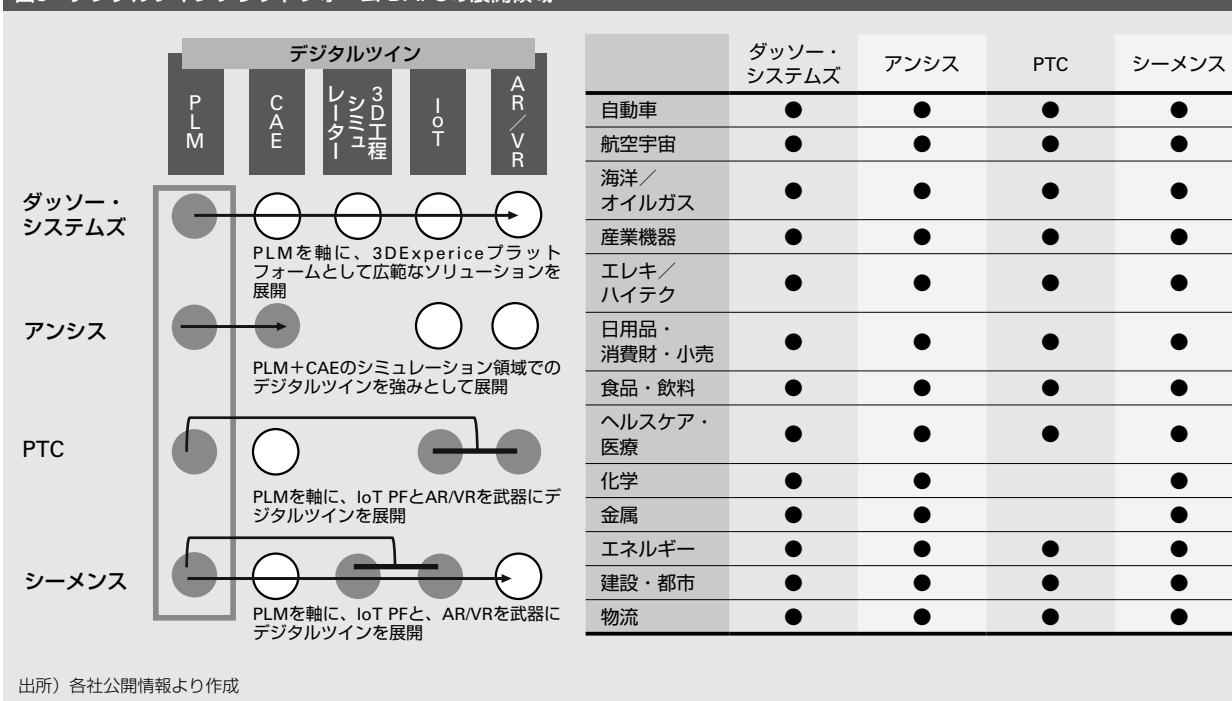


図8 デジタルツインプラットフォーム DAPSの展開領域



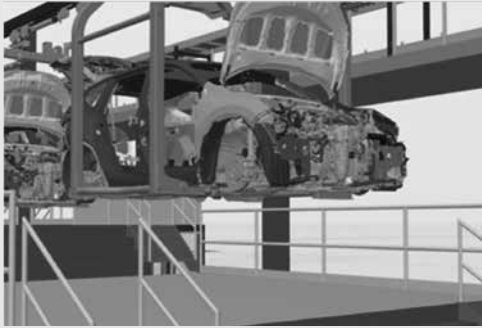
VRなど、デジタル上でのポートフォリオを拡大している。グローバルでかなり広範囲な産業において導入されている。DAPSは産業のデジタルツイン領域のデファクトを握るべく、研究開発や買収を含めた投資を進めている。それぞれの代表的事例を分析したい（図

8）。

D **ダッソー・システムズの事例** (ホンダアメリカ)

ダッソー・システムズは、1981年設立の仏IT企業で、PLMをベースに、製品設計・製

図9 ホンダアメリカによるデジタルツイン活用（ダッソー・システムズ事例）



出所) ダッソー・システムズWebサイトより作成

<https://blogs.3ds.com/northamerica/honda-transforms-automotive-manufacturing-with-3dexperience-platform/>

造ライン、物流・サプライチェーンや、都市・建設、医療など、幅広い領域のデジタルツインを展開している。ここではホンダアメリカにおける工場ラインのデジタルツイン事例を取り上げる。

ホンダアメリカは工場をデジタルツイン化し、仮想工場（Virtual Factory）をデジタル上で構築して検証することで、自動車市場投入期間の削減と工場生産性の改善を実現している。構想から納品までの生産プロセスをデジタルでシミュレーションしている。製品設計段階から自動車を仮想的にシミュレーションし、工場が設計通りに製造できたのかを3Dモデルで検証を行っている。その結果をコントローラーに連動し実際の工場に適用しているのだ。

今までは熟練エンジニアが2次元図面やテキストベースで経験とノウハウを活かした検討を行っていた。そのため、製品開発の3Dデータはそのまま他部門が活用できず、工程設計者がライン構想を視覚化できなかった。これをエンジニアが製品データから、工程をデジタル上で検討できるツールを構築し、Virtual Factoryを通じて、仮想モデルの製

品が特定のプラントをどのように通過するのかをプレビューし、コンベアなど工場全体のプロセスが機能するかを検証できるようにしている。これにより同社の市場投入期間が短縮されるとともに生産性が大きく改善している（図9）。

A アンシスの事例

（GE:風力発電インフラのデジタルツイン）

アンシスは1970年設立の米IT企業であり、世界シェアトップの設計シミュレーションであるCAEをベースに、航空宇宙・半導体・エレクトロニクス・自動車・生活用品・医療領域などでデジタルツインを展開している。GE（ゼネラルエレクトリック）のPredixにデジタルツイン技術を提供していることでも著名だ。ここではGE風車でデジタルツイン活用事例を取り上げる（図10）。

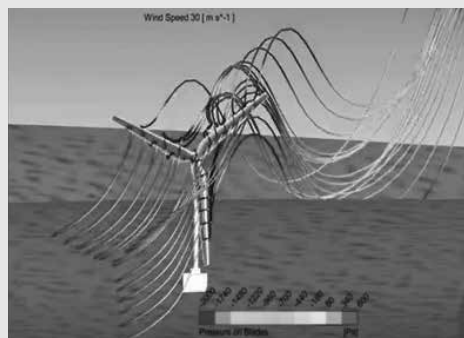
GEは海洋風車「GE Haliade 150-6MW」のオペレーションをモニターして分析するためにアンシスのデジタルツインを活用している。GEが展開しているIoTプラットフォームであるPredixにアンシスがデジタルツイン技術を提供する形態となっている。デジタルツ

インを活用することで視覚的に風車の寿命・劣化予測を行うとともに、風向きに合わせて調整発電量を最大化することができる。そのほか、海洋風車は洋上にあるため確認は困難で、多額の費用が必要となってしまう。そこにデジタルツインを活用することで、リモー

トかつリアルタイムに情報の分析ができ、オペレータはすぐにモータの交換時期の計画を立てることができる。

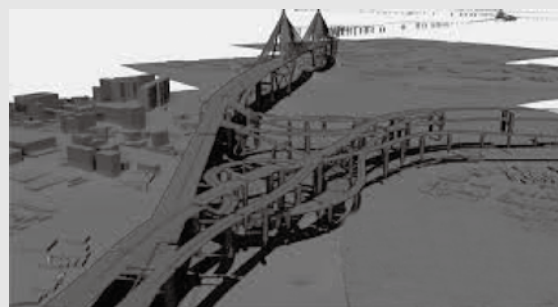
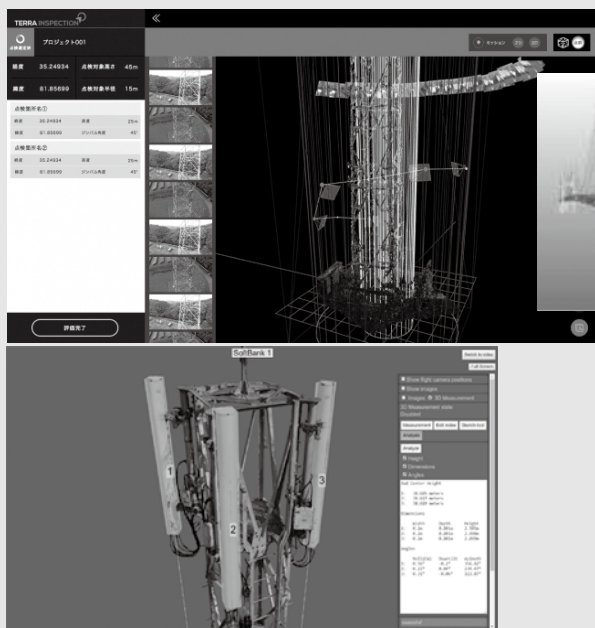
たとえば、風力発電用タービンは設置場所の地形に影響を受けるため、個体ごとに部品の消耗度が異なる。GEではそれぞれのター

図10 GE風車でのデジタルツイン活用（アンスイス事例）



出所) アンスイスWebサイトより作成
<https://www.ansys.com/ja-jp/other/ja-jp/campaign/digital-twin>

図11 インフラ検査におけるデジタルツイン革命



出所) (右上) テラドローンWebサイトより作成 <https://www.terra-drone.net/blog/page-6271/>
 (左下) ソフトバンクWebサイトより作成 https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2018/20181107_01/
 (右上下) 「日経Xtech」記事より作成 <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ncr/18/00087/031700006/>

ビンプレードの表面状態を撮影し、その画像に温度、回転数を組み合わせてブレードの劣化具合を分析、故障前に適切な対応を取ることによって稼働率を向上させている。実稼働時のデータを取り込んで物理空間のモノを「1対1」で忠実に再現し、オペレーションの高度化につなげている。

また、インフラにおけるデジタルツイン活用は幅広い領域で進んでいる。上記のようにオペレーション自体をデジタルツイン化するケースとともに、インフラ検査においても進展している。ドローン点検でセンシングしたインフラ機器の撮影画像データを、点群化処理して3Dモデルを生成する。従来の足場を組んで検査員が高所に上がって目視で確認するという、非効率かつ危険な点検・検査プロセスの効率化や安全確保の効果とともに、目視で確認し切れなかった確認・検証にも活用されている（図11）。

P PTCの事例

（トヨタ自動車によるデジタルツイン活用）

PTCは1985年設立の米IT企業である。PLM、AR/VR、IoTプラットフォームを武器に、航空宇宙・自動車・エレキ・産業機器・ライフサイエンス・オイルガス・小売／日用品におけるデジタルツインを展開している。ここではトヨタ自動車の生産技術領域におけるデジタルツイン活用を取り上げる。

トヨタ自動車は、工場ラインにおける新規導入・改修・メンテナンスの請負業者とのコミュニケーションをデジタルツイン（AR）の活用で遠隔・効率化している。請負業者と自社生産技術人員とのコミュニケーションにARを活用することで、今まで現場に直接行

図12 PTCによる「Vuforia」遠隔VRコミュニケーション



出所) PTCWebサイトより作成
<https://www.ptc.com/en/products/augmented-reality/Vuforia>

って確認しなければならなかった業務を遠隔でできるように展開している。遠隔から現場映像を見ながらAR上で指示できることで齟齬がないすり合わせ・コミュニケーション・技術指示を実施できるのだ。これにより、今まで現場に向かわなければならなかった出張・人件費などのコスト削減（月4回×4時間）と、請負業者との迅速・効率的なすり合わせ・コミュニケーションが実現している。

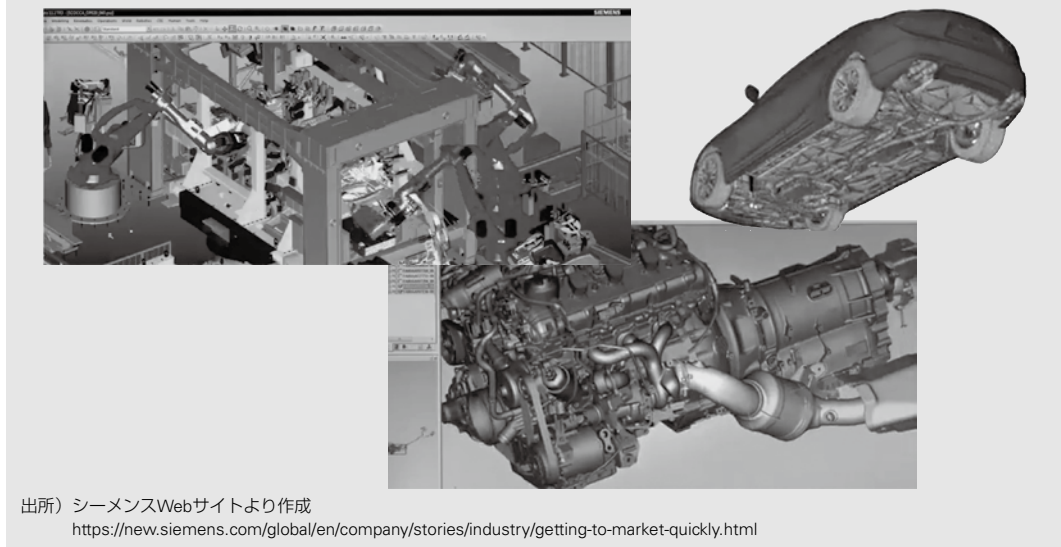
このユースケースは、コロナ禍の物理的な出張が制限される状況で有効な手段となる。実際に製造業では、不要不急でなければ可能な限り現場に足を運ばないよう指示が出ているケースも多い。そのような状況で、本社の熟練エンジニアが各工場に物理的に訪問しなくても現地人員や請負業者に的確に指示ができるようになることは、非常に有効な一手となり得る（図12）。

S シーメンスの事例

（マセラティによる製造デジタルツイン活用）

シーメンスは従来、重電をはじめとする製

図13 マセラティによるデジタルツイン活用



造企業であったが、買収を通じてデジタルツインを中心としたデジタルソフトウェア企業へと大きく舵を切っている。1兆円以上の資金を投入してIT企業の買収を図り、製品開発から製造工程、製品パフォーマンスまですべてをデジタルツインでつなぐポートフォリオを拡大している、インダストリー4.0の中心的企業である。ここではマセラティによる活用事例を取り上げる。

イタリアの自動車会社のマセラティは、デジタルツインを活用して自動車製造オペレーションを大きく効率化している。製品設計や工場内生産ラインのデザイン、稼働状況までがすべてデジタルツインでシミュレーションできるようになっており、シミュレーション結果をコントローラーと連携させて生産設備の制御にも適用している。つまり、デジタル上のシミュレーションを物理空間の実機と連動させているのである。

デジタルツイン活用の結果として、デジタル上で各部門の連携をスムーズにするととも

に、今まで熟練者が物理空間で行っていた気づけなかった無駄・非効率を含めた検証・改善を行うことで、自動車設計から市場投入までの期間を30か月から16か月に短縮し、生産性を3倍に向上させている(図13)。

これからのデジタルツインプラットフォームと日本企業の余地

DAPSをはじめとしたデジタルツインプラットフォームは、グローバルで既に多くの産業に導入されており、導入した産業や顧客から出る課題、さらなる改善ニーズに基づく技術改善サイクル、莫大なR&D・買収投資を通じて、グローバル標準の立ち位置を得ている。DAPSとは価格面で差別化するデジタルツイン企業も出てきているが、低価格デジタルツイン企業自体もグローバルでの活用や技術投資・開発を相当なレベルで行っており競争力を有している。

たとえばフィンランド本社で現在約30カ国の拠点・代理店網を有し、グローバルに展開

しているVisual Components社（中国美的集団傘下のドイツロボットメーカーカーカにより買収）や、ドイツを拠点に8カ国に展開し、大手航空会社エアバスやロボットメーカーの川崎重工業・ファナックなどとの連携を行っているセニットなどがその例である。これらの通り、特に製品設計や設備エンジニアリング系のデジタルツインについては、世界でも相当なプレゼンス・顧客基盤を有するグローバル標準のプラットフォーマーが既に存在しており、DAPSをはじめとした既存デジタルツインメガ企業に対してデジタルツインの技術・ソフトウェア自体で勝負を仕掛けることは得策ではない。

日本企業としては、次の2つの方向性となると考える。①彼らを標準として徹底的に使いこなし、その上に乗っかるユーザーノウハ

ウをベースに商材としていく、②業界や領域を絞り、勝機のあるセグメントでデジタルツイン展開を図る。この2つの方向性について、日本企業の事例分析を行っていきたい。

V 日本企業のデジタルツイン展開

グローバルではDAPSを中心としたグローバル標準が形成される中、日本企業としてもデジタルツインを活用したビジネス・オペレーション展開を図る企業が出てきている。

前述の通り、日本企業の勝ち筋としては、①デジタルツイン自体は既存技術を使いこなし、自社のノウハウ・技術をデジタルツインに転写し展開する、②強みを持てる領域でセグメンテッド・デジタルツインを展開する、の2通りと考えられる。たとえば前述のコマ

図14 デジタルツインにおける日本企業の方向性と代表事例

標準・全領域デジタルツイン	
〔商材〕 デジタルツイン自体	〔商材〕 ユーザー・産業ノウハウ
DAPSらメガデジタルツインプレイヤーの領域 ダッソー・システムズ／アンシス／PTC／シーメンス	(ユーザー・産業ノウハウを活用する ＝領域特化・セグメンテッドとなる)
②領域特化セグメンテッド デジタルツイン展開 <ul style="list-style-type: none"> ・ コマツ（スマートコンストラクション／建設土木におけるデジタルツイン） ・ トヨタ自動車 Woven City（スマート都市におけるデジタルツイン） ・ 図研（製造業向け特化デジタルツイン） ・ クボタ（KSASにおけるデジタル農場管理） ・ 日立製作所（Lumadaを通じた産業別ソリューションの展開） ・ NEC（自律制御・マスカスタマイゼーションのためのNEC DX Factory） ・ 富士通（工場・モビリティ・ダムなどインフラのデジタルツイン展開） ・ NTT（デジタルツインコンピューティング戦略） ・ 東芝（自社をCPS企業と定義し領域別ソリューションを創出） 	①技術・ノウハウを既存デジタルツインに乗せて展開 <ul style="list-style-type: none"> ・ デンソー（タイにおけるデジタルツイン実証デモファクトリーを活用したトレーニング事業） ・ 大成建設（ダッソー・システムズを活用し銀座のデジタルツイン化・サービス開発） ・ 鹿島建設（設計／施工／管理の一連のプロセスをデジタルツインでPJ管理する手法を実行） ・ 清水建設（豊洲エリアにおける都市デジタルツイン展開） ・ 阪神高速道路（高速道路のデジタルツインを通じて効率的なメンテナンスシミュレーション） ・ 商船三井（船舶ディーゼル主機のデジタルツイン化を通じてオペレーション最適化）
領域特化・セグメンテッド	
出所) 各社発表情報より作成	

ツのスマートコンストラクションが展開する建設土木領域における取り組みは、建設領域に焦点を絞ったセグメンテッド・デジタルツイン展開である。図14にて、この2つの日本企業の方向性と、日本企業代表例を記載している。

スマートコンストラクションによる土木現場のデジタルツイン化を図るコマツのほかにも、①の例としてタイでの実証製造デモファクトリー事業での活用を進めるデンソーや、②の例として整備を進めるコネクテッド都市のWovenCityにおけるデジタルツイン活用を行うトヨタ自動車など、展開する企業が出てきている。それぞれ日本企業の方向性を①・②の代表例として紹介する。

1 | デンソー：デジタルツインを活用した実証デモライン（タイ）

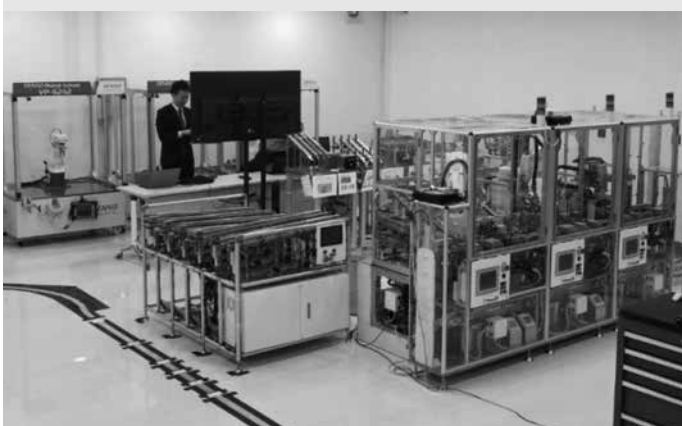
デンソーは、タイにおいてデジタルツインを活用した実証デモラインを通じた現地生産設備インテグレーターや、製造業の生産技術エンジニアのトレーニング（LASI：Lean

Automation System Integrator）事業を展開している。この取り組みはタイ工業大臣から首相へ「タイにおける自動化の柱にする」と報告されるなど、同国の製造業における産業強化の中心的存在として政府・産業・教育／研究機関から捉えられ、大きなインパクトを生み出しているほか、同社のビジネスとしても自社ロボットなどの生産設備・システムを活用し、拡販やインテグレーター・顧客層拡大、ロックインにつながっている。

LASIは、デンソーがものづくりで70年間蓄積してきたノウハウ・知見（Lean Automation）を「自動化の前の合理化」「現場ノウハウ・技術を通じた自動化」「改善し成長し続ける人・現場作り」をコンセプトにトレーニングプログラム化したものである（図15）。ここでもデジタルツインが大きな役割を果たしている。実証ラインでは実機とデジタルツインが連動しており、製造ラインをエンジニアリングする際に図面ではなく3Dイメージを踏まえて検討できる。熟練者でなくても検討をスムーズに行えるため、上記のデンソー機器を導入検討する顧客や、活用して拡販するインテグレーターの裾野の拡大につながっている。

日本企業のノウハウは属人的・暗黙知的になってしまっており、そのノウハウを「商材」として他社に伝えることは難しかった。それをたとえば、ライン設計データをデジタルツインの3Dライブラリとして蓄積するなど、他社に見える形で伝え、展開していく。あるいは外販においてノウハウを商材化することで、顧客からのフィードバックを受け、さらに自社内での製造ノウハウを磨くことにもつながる。製造業のノウハウを活かした競

図15 デンソーが展開するLASIの実証デモファクトリー



出所) デンソー Webサイトより作成
<https://www.denso.com/jp/ja/csr/csr-policy/pickup-1/>

争力のある外販事業開発や、それを通じたさらなるものづくりの高度化にはデジタルツインは欠かせない存在となっている。

2 | トヨタ自動車：コネクテッド都市「Woven City」における活用

トヨタ自動車は、世界最大級の家電・技術見本市「CES2020」で静岡県裾野市の東富士工場の跡地に設置する実証コネクテッド都市Woven Cityのコンセプトを発表し、2021年の着工に向けて世界中の企業・研究者の参画を募っている。

Woven Cityは、自動運転、モビリティ・アズ・ア・サービス (MaaS)、パーソナルモビリティ、ロボット、スマートホーム技術、人工知能 (AI) 技術などを導入・検証できる実証都市である。このWoven Cityでは、デジタルツインが重要な役割を果たすことが計画されている。前述のBIMをはじめとした都市の設計・構築段階でのデジタルツイン活用とともに、都市の構築後もドローンや車両・各種センサーを通じて取得された情報を基に点群処理などを行い、建物内部を含めた都市生活のより細部まで踏み込んだデジタルツインを構築し活用する計画である。その結果として、都市の現状・人々の生活のデジタルデータを通じたオペレーション分析や、サービス開発、シミュレーションを通じたさらなる都市全体の改善を図る。

都市生活では、工場のオペレーションなどと比較すると、人・モノが不規則に柔軟に動き続けるため、物流や交通などリアルタイムの情報を基にしたサービスや対応が求められる。これらの都市におけるデジタルツイン構築・活用は世界でまだ手探りの状況であり、

図16 Woven Cityイメージ



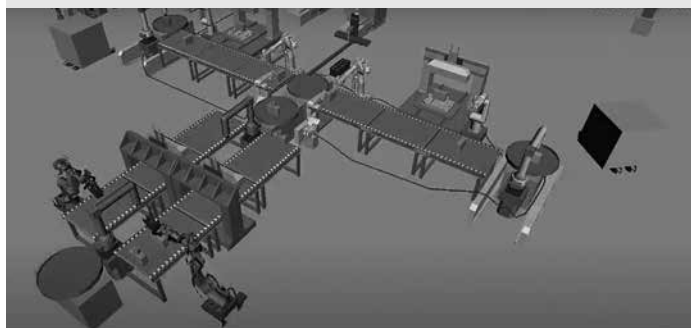
出所) トヨタ自動車プレスリリースより作成
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/31170943.html>

Woven Cityが先んじてその手法を確立できれば、競争力のあるセグメント・デジタルツイン展開につながるほどのポテンシャルを有している (図16)。

3 | 図研による製造業向けデジタルツイン展開

図研は1976年創業で、国内初のCAD/CAMシステム提供を行った歴史を持ち、アジア・米国・欧州で展開するソフトウェア企業である。強みである製品3D設計ソフトウェア・

図17 図研の展開する工場デジタルツイン「FACTORY DIGITAL TWIN」



出所) 図研Webサイトより作成
<https://fdt.jp/products/>

PLMとともに、生産工程をデジタルツイン化するFactory Digital Twinを展開している。2019年にはシステムズエンジニアリングで強みを持つ米Vitech社の買収を通じたMBSE (Model Based System Engineering) の強化など、製造業領域の製品設計・工程設計領域で研究開発や買収などの投資を集中的に行っている。製造業向けエンジニアリングチェーン支援のセグメント・デジタルツインとしての展開が期待される (図17)。

VI デジタルツイン時代における日本企業の方向性

ここまで、日本の製造業や他産業で起こっているデジタルツイン革命の動向、また、グローバル標準となっているデジタルツインプラットフォームDAPSの事例、日本企業の勝ち筋を分析してきた。最後に、デジタルツイン時代における日本企業が取るべき方向性を論じたい。

1 | 変化するVUCA時代に対応する ダイナミック・ケイパビリティと デジタルツイン

現代のビジネスは、コロナ禍、英国のEU離脱、環境規制など、変化が激しく不確実な状況になってきている。Volatility (変動性)、Uncertainty (不確実性)、Complexity (複雑性)、Ambiguity (曖昧性)の頭文字を取り、VUCAの時代とも呼ばれる。コロナ禍がまさにその典型であろう。予想もされなかった事態で今までの常識は通用せず、ドラスティックな方向転換、全く新たな企業戦略の実行が求められた。

そのような時代の中で、企業にとって最も重要な能力が「変化に対応する」能力である。たとえばデイヴィッド・ティース教授(カリフォルニア大学バークレー校ハースビジネススクール)は「ダイナミック・ケイパビリティ(急激な経営環境の変化に対する対応力)」を提唱している。事業環境の変化、顧客ニーズの変化に基づくシミュレーションと、それに基づく物理空間の連動を図るデジタルツイン技術は、まさにダイナミック・ケイパビリティを構築する上では不可欠な土台となり得る。

コロナ禍で既存製品の需要製品が大きく落ち込むと同時に、マスクやフェイスシールドなどの新たな需要が生まれ、空いた製造キャパシティで迅速に別製品を作る意思決定が求められる状況になったが、アイリスオーヤマやシャープが工場のキャパシティを活かしてマスク生産を開始したほか、トヨタ自動車やGMはフェイスシールド生産を、フォードが人工呼吸器製造などを行っている。環境変化を踏まえた迅速な方向転換や、それが成り立つかどうかの検証ではデジタルツインの活用が不可欠となる。

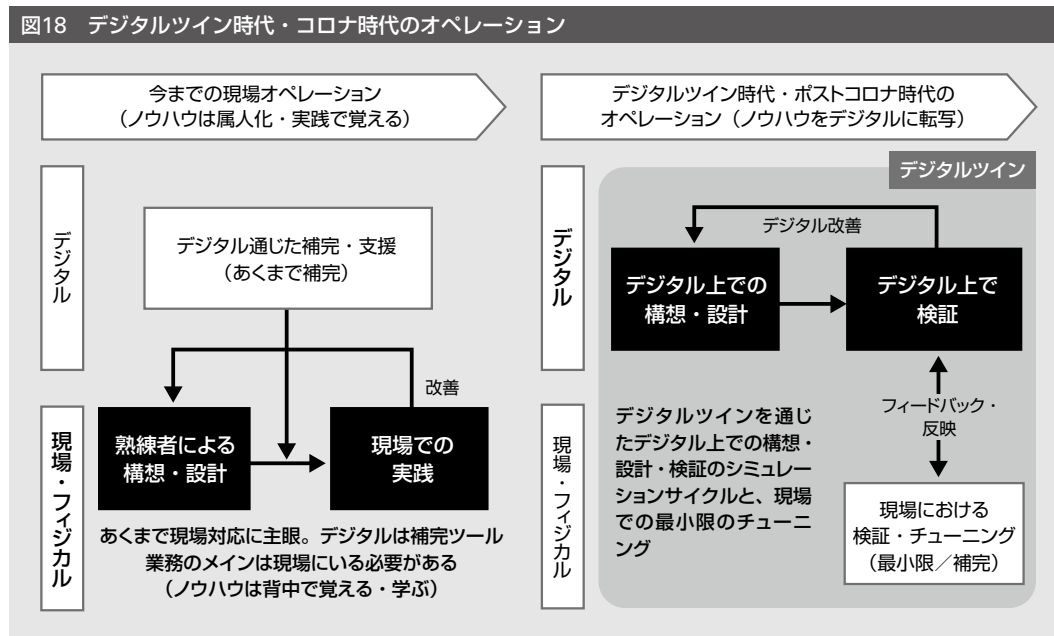
コロナ禍のドラスティックな変化に限らず、受注状況に応じたグローバル工場間での生産アロケーションや、規制変化に伴う製品設計・製造ラインの柔軟な対応など、現代のビジネスではダイナミック・ケイパビリティの重要性が増している。デジタルツイン活用を通じて、日本企業の弱みといわれてきた変化への迅速な対応を強みに転換していくことが期待される。

2 | デジタルツイン時代のオペレーション: デジタルで構想・検証し現場が調整・ 補完を行う

属人的・暗黙知的な「現場」力は今までの日本の強みであったが、デジタル化はそれを標準化して自社内で効率的に展開できないことや、ノウハウを基にした他社へ提供する新規ソリューション事業につなげることができず弱みとなってしまっていた。特に、コロナ禍でリモートや柔軟なオペレーションに苦慮した企業が多いなど、今まで後回しにしてきたデジタル投資の課題が浮き彫りとなった部分大きい。そこで、企業オペレーションは、デジタル上での設計・構想と検証のシミュレーションサイクルを回し、現場がチューニング・補完する「デジタルツイン」型に転換していく必要がある(図18)。直接的な現場負荷を最小化することはポストコロナ時代のオペレーションに必須であり、デジタルツインがそれを支える技術となる。

日本の製造業は、現場の高い技術力や熟練技能者に蓄積されたノウハウを前提にオペレーションが成り立ってきた。しかし現在、熟練技能者の高齢化・退職が進み、若手や外国人が現場の中心となってきた中で、同時にコロナ禍のように熟練者の「人」を介した技能伝承や指示が難しくなってくると、その前提が崩れる。日本はトヨタ生産方式をはじめとした「仕組み化」を得意としてきた。今後、外国人労働者や若手が中心になるなど、高度な熟練工・暗黙知といった今まで前提としてきたことが持続可能ではないという新たな状況の下、今一度デジタルツインを活用・前提としたオペレーションのあり方について検討する必要がある。日本の強みであった現場力は目に見えないものであったが、オペレーション自体をデジタルツインで再現できるようになると、他社への提供・外販も視野に入ってくる。

図18 デジタルツイン時代・コロナ時代のオペレーション



3 | 日本のこだわり抜いた 現場ノウハウ・改善力が 競争力となる時代へ

デジタルツインにより今まで熟練者が行ってきた、図面を解釈し、経験に基づき調整・変更を加えていくといった工程が3Dで表現できるようになり、それぞれの工程の構想・検証やノウハウの移転が格段に効率的になっている。そして、これらの技術を活用して、新興国企業や新規参入企業が長年蓄積されたノウハウがなくとも参入・展開できるようになってきている。つまり、ある一定程度のものづくり、80点のものづくりは、技術の調達やデジタルツインをはじめとしたデジタルツールの活用を通じて、誰でも可能になっているのだ。

電気自動車領域への多くの企業による参入や、デジタルプラットフォームによる製造領域進出など、ベトナムVinFastらがその最たる例である。この80点のものづくりと、日本企業が目指してきた100点を目指し続けるものづくりの差からの示唆には次の2点がある。

(1) 80点の立ち上げスピードとスピーディに 100点へ引き上げる改善の両立

製造業としては今までの熟練技能者のノウハウ・技術に基づくオペレーションから、デジタルツインを活用した3Dベースで誰もが「見える」「検討できる」形に転換することが求められる。つまり、80点のものづくりプロセスまでは一気にスピード感をもって引き上げることができる。そこを前提・発射地点としてオペレーションを組み立てることで、0点から100点を目指すのではなく、80点の状

態から100点に向けて作り込むことができる。

この80点にまで土台を持っていくプロセスを、標準化して誰でもできるようにすることで柔軟性やスピードが大きく向上する。デジタルツインを活用し80点に作り上げた上で、日本企業の強みである+20点の改善を行っていくのだ。デジタルツインとの組み合わせにより、100点を目指す日本のものづくりが、スピードも具備した形へと転換することが期待される。

(2) 残り20点のノウハウが 売り物になる時代へ

加えて、80点までは誰もがデジタルツインやその他の技術の「調達」で到達できるようになれば、日本企業がこだわり抜いてきた「残り20点」の重要性・価値があらためて浮き彫りになる。たとえば米EV企業のテスラが工場設立後、生産技術面で苦勞し、生産立ち上げまでに時間を要した件や、メーカーズと呼ばれる事業構想やコンセプトを基に開発委託会社（ESO）や製造受託会社（EMS）を効果的に活用し、製造業展開を図る企業が、しばしば品質問題を起こしてしまうケースが最たる例である。

また、自動車など生産量の大きい製造業では、デジタルツインでシミュレーションされたラインから、さらにこだわり抜いて改善を重ねる「コンマ秒単位」の生産性向上が億単位で収益に影響する。80点のものづくりを実現する新規プレイヤーがデジタル化によって多く勃興する中で、そこからいかに+20点を積み上げるのかを求める課題・ニーズが生まれる。たとえば、溶接・マテリアルハンドリングなど、個別工程における熟練技能者の動

きをIoTで分析し、ソリューション展開することや、日本企業がこだわって開発してきた工法やライン技術をパッケージ展開し、外販を行っていくなどである。

こういったノウハウを可視化し、他社に価値を伝えるためには、デジタルツイン活用が欠かせない。日本企業がデジタルツインを活用し、これからの世界のものづくりをリードする存在となることが期待される。

注

Global Lighthouseの詳細は、『知的資産創造』2020

年8月号「Global Lighthouseに見るグローバル先端工場のトレンド——先端ものづくりの国ではなくなった日本の取るべき方向性」を参照されたい

著者

小宮昌人（こみやまさひと）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部主任コンサルタント

専門はプラットフォーム戦略、IoT・FA・インダストリー4.0対応、イノベーション創出支援など

近著に『日本型プラットフォームビジネス』